

## **Резонаторы на основе метаматериала для мощных многолучевых клистронов**

*Рассмотрен новый тип резонаторов для многолучевых клистронов, содержащий в зазоре массив индуктивных перемычек. Это дает возможность существенного увеличения поперечных размеров области взаимодействия при сохранении однородности профиля вч поля в зазоре, что позволяет увеличить выходную мощность, кпд, усиление лампы.*

**Ключевые слова:** метаматериал, многолучевой клистрон, резонатор, сверхразмерность

Одним из главных направлений развития вакуумной СВЧ электроники является разработка многолучевых клистронов повышенной мощности и полосы частот при жестких ограничениях на напряжение питания прибора. В этих условиях основная возможность увеличения мощности лежит в увеличении суммарного тока электронного потока. Это достигается за счет увеличения компрессии пучка, повышения токоотбора с катода и/или повышения числа лучей. Первые два пути означают рост первеанса пучка и, как следствие, падение кпд, к тому же они, по-видимому, достигли предела своих возможностей. Последний способ широко использовался последние десятилетия, однако он имеет принципиальное ограничение: при увеличении числа лучей поперечный размер области взаимодействия увеличивается, что приводит к существенной неоднородности профиля поля по пространству взаимодействия. Таким образом, электронные пучки взаимодействуют в различных условиях, что приводит к деградации мощности, кпд, усиления прибора. Максимальный диаметр области взаимодействия к настоящему времени достиг величины  $D = 0.42 \lambda$ , на этом уровне, по-видимому, этот способ практически исчерпал себя. Дальнейшее увеличение тока (и мощности) лампы возможно в многоствольной конструкции (работа на высших видах колебаний резонатора), однако это приводит к существенному усложнению конструкции клистронов, увеличению массогабаритных параметров, сужению полосы.

Характерный масштаб профиля поля в зазоре определяется длиной волны  $\lambda = \frac{v_{ph}}{f}$ ,

которая определяется фазовой скоростью волн в зазоре. В традиционном резонаторе фазовая скорость равна скорости света  $c$ , однако, если в зазоре расположить периодическую систему индуктивных перемычек (Рис. 1), то можно существенно увеличить фазовую скорость, длину волны и, значит, однородность поля [1].



Рис. 1 Резонатор многолучевого клистронов с индуктивными вставками. 1 – индуктивные вставки, 2 – каналы, 3 – направление распространения волны

Теперь дисперсия волны низшего типа (Т-волны) имеет частоту отсечки  $\omega_0$  (Рис. 2).

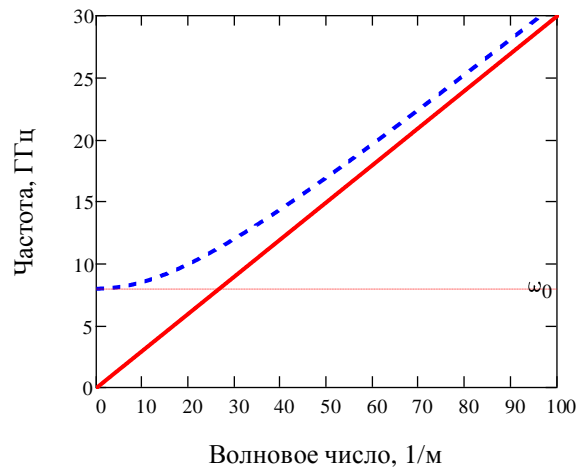


Рис 2. Дисперсия Т-волны в зазоре традиционного тороидального резонатора (сплошная линия) и в резонаторе с метаматериалом (пунктир).

Среда с периодически расположенными включениями называется метаматериалом [2]. Клистрон, использующий метаматериал в резонаторах, можно называть метаклистроном. При емкостном характере нагрузки зазора на краях резонансная частота  $\omega_r$  оказывается ниже частоты отсечки  $\omega_0$ , при индуктивном – выше, что влияет на профиль поля в зазоре (Рис.3).

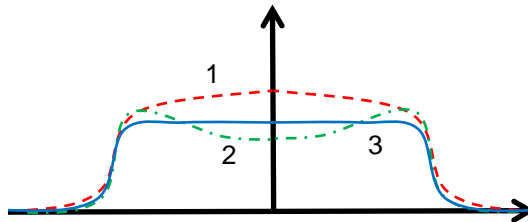


Рис 3. Профиль электрического поля в зазоре. 1 – при  $\omega_0 < \omega_r$ , 2 -  $\omega_0 > \omega_r$ , 3 -  $\omega_0 = \omega_r$ .

В качестве примера рассмотрим резонатор 30-лучевого прибора X-диапазона с  $D \approx \lambda$  (Рис. 4).

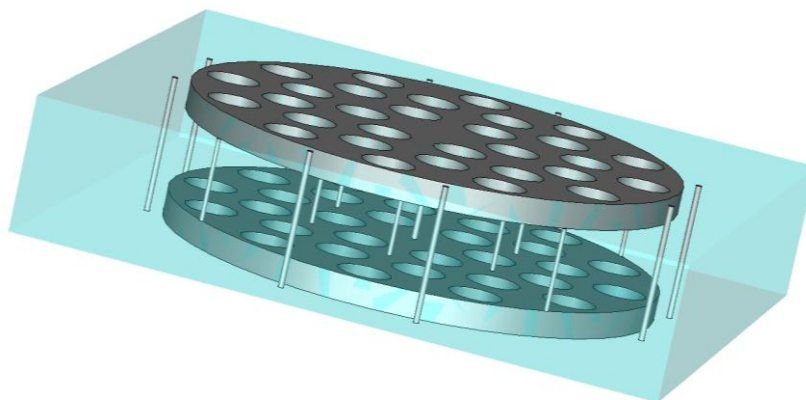


Рис. 4. Резонатор с индуктивными перемычками.

Профиль z-компоненты электрического поля низшей моды показан на Рис. 5.

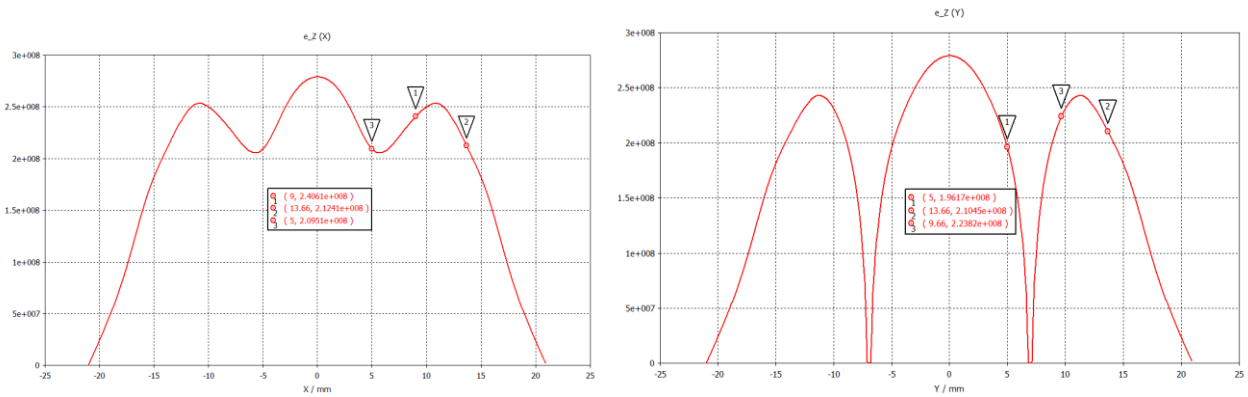


Рис. 5. Профиль поля в плоскостях X и Y. Маркерами указаны положения лучей.

Еще один пример – прямоугольный резонатор размером 16x16 мм (Рис.6), имеющий, благодаря перемычкам толщиной 0.5 мм, частоту основного типа колебаний 37.45 ГГц ( $D \approx 2\lambda$ !).

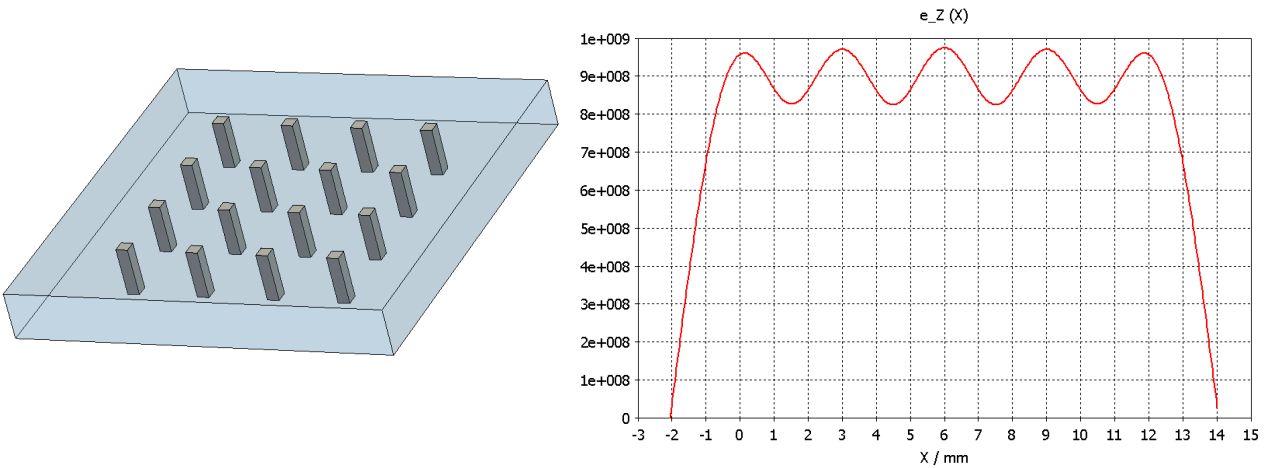


Рис. 6. Прямоугольный резонатор с метаматериалом и профиль поля его основной моды колебаний.

Использование метаматериала приводит к заметному обеднению спектра колебаний (Рис. 7).

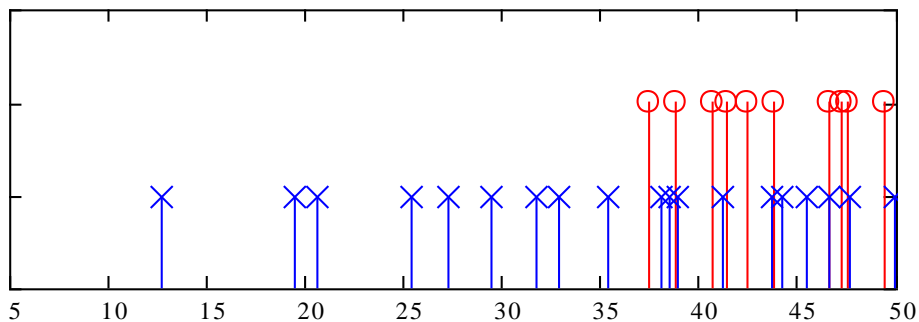


Рис. 7. Спектр резонансных частот резонатора с метаматериалом (o) и обычного резонатора того же размера (x).

## Выводы

- Применение метаматериала реализует резонатор с повышенной однородностью поля и сопоставимой с традиционным прибором плотностью спектра резонансных частот. Это позволяет повысить выходную мощность и КПД лампы, а также дает возможность увеличивать диаметр области взаимодействия, увеличивать число лучей и, таким образом, повышать выходную мощность прибора.
- Индуктивные переключки позволяют эффективно управлять профилем поля в зазоре, в частности компенсируя возмущения, вносимые выводом энергии.
- Использование быстрых волн в метаматериале – это универсальный способ борьбы со сверхразмерностью СВЧ прибора. Этот принцип применим не только к многолучевым клистроном, но и к магнетронам, полупроводниковым источникам СВЧ с суммированием многих элементов (ЛПД, диодов Ганна)

## Библиографический список

1. Галдецкий А.В. “О возможности применения метаматериалов для увеличения мощности многолучевых клистронов” 22я Международная конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: сборник материалов конференции (Севастополь, 10-14 сентября 2012 г.). – Севастополь, 2012. – С. 191-192.
2. Банков С.Е. “Электромагнитные кристаллы”. М.: Физматлит, 2010, 352с..